

Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2020.09.010



欢迎按以下格式引用:陈升,扶雪琴.“一带一路”沿线科技创新效率区域差异及影响因素分析——基于三阶段 DEA 和 Tobit 模型[J].重庆大学学报(社会科学版),2022(1):154-169. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2020.09.010.

Citation Format: CHEN Sheng, FU Xueqin. Analysis on the efficiency and influencing factors of science and technology innovation along the Belt and Road in China; Based on the three-stage DEA and Tobit models[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2022(1):154-169. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2020.09.010.

“一带一路”沿线科技创新效率 区域差异及影响因素分析 ——基于三阶段 DEA 和 Tobit 模型

陈升^{1,2},扶雪琴¹

(1. 重庆大学 公共管理学院,重庆 400044;2. 清华大学 中国发展规划研究中心,北京 100084)

摘要:科技创新和“一带一路”倡议联系紧密并日益影响着现代化经济体系的高质量 and 持续发展。然而,“一带一路”沿线区域仍面临着创新资源分配不均、创新成果转化不足、创新生态系统构建不完善和创新体制机制不够优化等发展困境,这制约着区域科技创新效率的总体提升,也在一定程度上影响“一带一路”倡议的深化发展。面对创新驱动战略的不断深入推进和“一带一路”持续向高质量发展,明确我国“一带一路”沿线省份科技创新整体的投入产出效率,探究影响“一带一路”沿线省份科技创新效率的环境因素,以及如何提升“一带一路”沿线省份科技创新效率,这些问题的分析与解决引起了实务界和学术界的广泛关注。对此,文章基于三阶段数据包络(DEA)模型,根据2012—2016面板数据,在充分考虑了创新成果转化的时滞效应条件下,探究了剔除外部环境影响后我国“一带一路”沿线17个省份的真实科技创新效率,同时利用Tobit模型检验了科技创新主体(高技术企业、政府)、劳动者素质、金融支持和创业水平、科技创新政策等因素对“一带一路”沿线省份科技创新效率的影响。研究结果表明,“一带一路”沿线省份的科技创新效率既具有有效性的一面,又存在不充分、不均衡和不稳定的一面。首先,“一带一路”沿线省份的科技创新综合效率具有空间差异性,东南、东北、西南和西北四大板块科技创新综合效率差异明显,整体上呈东高西低。其次,“一带一路”沿线省份的科技创新综合效率具有时间动态变化性,五年间综合效率总体上呈上升趋势,且四大板块之间综合效率的差距逐年减小。最后,经过Tobit回归模型对科技创新综合效率的影响分析表明,政府支持力度、劳动者素质和金融环境对科技创新效率具有正向影响,科研经费支出强度、“一带一路”倡议政策和创业水平对科技创新效率具有负向影

基金项目:国家社会科学基金重点项目“我国中长期规划决策机制及方法论研究”(15AZD016)

作者简介:陈升(通信作者),重庆大学公共管理学院教授,博士研究生导师,Email:chensh8623@cqu.edu.cn.

响。据此,认为今后可以从合理调配科技创新资源、培育高质量创新生态系统、优化创新体制机制和完善科技创新政策体系等方面进一步完善和改进,从而有效提高“一带一路”沿线省市的科技创新效率。

关键词:“一带一路”;科技创新效率;影响因素;三阶段 DEA;Tobit 模型

中图分类号:F273.1;F124.3

文献标志码:A

文章编号:1008-5831(2022)01-0154-16

党的十九大报告强调了科技创新在国家创新体系建设中的战略支撑地位和在全局中的引领作用。近年来,中国在基础研究、重大科技工程和民生科技等领域硕果累累,在世界知识产权组织等发布的《全球创新指数报告》中的排名连年攀升,2018年首次跻身全球“最具创新力经济体”前20强,2019年排名升至第14位,标志着我国创新能力的不断提升,正式跨入世界科技创新型国家行列。可见创新驱动发展战略实施下科技创新成果丰硕。科技创新是“一带一路”高质量发展的重要动力,这将有助于“一带一路”沿线省市构建创新型经济形态。

习近平总书记2013年提出“一带一路”倡议,2017年提出启动“一带一路”科技创新行动计划,自此以来,“一带一路”科技创新建设由点扩散到面,沿线省市广泛寻求合作,蓬勃发展态势强劲。例如,福建抓住位于21世纪海上丝绸之路核心区优势,加大与东盟、欧盟、俄罗斯、中亚、南亚等国家和地区的科技交流与合作,“引进来”和“走出去”相结合,合作取得持续深入进展;广西以中国—东盟合作为主切入点,强化中国—东盟博览会和商务投资峰会的平台作用与泛北部湾合作机制,促进多层次科技合作机制建设。“一带一路”是创新之路,为沿线区域科技创新发展创造了新的机遇和平台。

由此可见,“一带一路”倡议与创新驱动战略融合发展为区域科技创新发展带来重大契机。但是,我们也要清楚认识到目前中国的科技水平与发达国家相比仍然有很大差距,尤其是在高端制造业、芯片、移动终端等关键领域,缺乏核心技术,原始创新能力不足。不可否认,在“一带一路”倡议深化发展的背景下,沿线区域仍面临着创新资源分配不均、创新成果转化不足、创新生态系统构建不完善和创新体制机制不够优化等发展困境,这制约着区域科技创新效率的总体提升,也在一定程度上影响“一带一路”倡议的深化发展。我国“一带一路”沿线省份科技创新整体的投入产出效率如何?受到哪些环境因素的影响?如何提升“一带一路”沿线省份科技创新效率?这些问题的分析与解决,一方面为深入贯彻“一带一路”倡议、实施创新驱动发展战略与建设创新型国家提供理论依据;另一方面对完善区域科技创新机制和缩小区域差距具有现实意义。

一、相关文献综述

国内外专家学者针对“区域创新效率”已展开大量研究。其研究重点主要集中在区域创新效率测量方法、区域创新效率评价、区域创新阶段研究和区域创新效率影响因素等方面。

从区域创新效率测算方法看,早前的研究多采用数据包络分析方法(DEA)^[1-2],越来越多研究对传统的单纯 DEA 模型加以改进,结合使用随机前沿分析(SFA)^[3-4]、Malmquist 指数法^[5-6]、熵权 TOPSIS 方法^[7]、主成分分析法^[8]和因子分析法^[9]等从不同角度对创新效率进行测量和评价。从区域创新效率评价看,郭淑芬和张俊从人力、资金和技术三个层面构建了区域科技创新效率评价指标体系,并分类比较了2009—2013年间31个区域科技创新效率的投入冗余情况^[10];乔元波和王砚羽剔除外部环境和随机因素干扰,在考虑时间演进情况下考察了东中西部创新效率变化^[11];Zhong 等

使用2004年首次中国经济普查数据评估了30个省市的R&D投资效率^[12]。从基于创新价值链视角对区域创新效率的阶段研究来看,刘树峰等将创新过程分为知识凝结和市场转化两个阶段,分析了这两阶段创新效率的动态演化过程及其成因^[13];余泳泽和刘大勇从知识、研发和生产将创新过程分为三个阶段,根据知识—研发二维矩阵分类评价了30个省份各阶段的创新效率^[14];Chen等从研发和商业化过程两个创新活动阶段评估了省级高技术产业创新绩效^[15]。从区域创新效率影响因素综合研究来看,肖仁桥等探析了影响创新效率的因素,研究发现政府支持、金融环境等对整体创新效率影响显著^[16];胡艳和周玲玉分析了长江经济带11省市高新技术产业创新效率的影响因素,研究发现企业自主创新和政府支持对提高创新效率产生最重要影响^[17];Fritsch和Slavtchev讨论了区域创新系统效率的可能影响因素,结果表明,私营部门内以及公共研究机构与私营部门之间发生的知识溢出对私营部门创新活动具有积极影响,人口密度对创新绩效具有积极影响^[18]。

通过以上文献梳理发现,对于科技创新效率的研究已经取得丰富的成果,而目前关于“一带一路”沿线区域创新效率针对性研究较少,探究影响因素的研究就更少。从“一带一路”区域创新系统研究来看,孙亚静等从科技创新投入、产出和可持续发展三个层面构建了15个指标,通过提取主成分和聚类分析评价了“一带一路”沿线重点省份的科技创新竞争力^[19];张小勇和马永腾借鉴英、美、德、日等发达国家先进经验,从宏观微观多维度为西北民族地区产业科技创新提供发展路径^[20];张娜和吴福象基于莫兰指数分析了“一带一路”沿线城市的创新差异及其影响因素,研究发现经济、人才和基础设施等对城市创新差异有显著促进作用^[21]。从“一带一路”区域创新效率研究来看,夏彩云和罗圳基于DEA-Malmquist指数法测度了沿线区域科技创新效率^[22];郝金磊和尹萌基于DEA-Malmquist-Tobit模型,研究了硬件、经济、市场、人文和创业环境因素对丝绸之路经济带沿线地区创新效率的影响^[23];苏日古嘎和马占新利用广义DEA模型,评价了科技创新效率,对比“一带”“一路”沿线省份科技创新效率发现后者平均科技创新效率高于前者^[24]。

本文结合现有研究,进一步考虑到创新成果转化的时滞效应,运用三阶段DEA+Tobit模型,测算“一带一路”沿线省份的真实科技创新综合效率,并分析了剔除外部环境影响后“一带一路”沿线省份科技创新效率的影响因素,考察“一带一路”沿线省份创新环境、产业化发展和科技创新政策等对科技创新效率的影响。

二、研究方法、指标选取与数据来源

(一) 研究方法

数据包络分析模型(DEA)最初由Charnes等^[25]在1978年提出—— C^2R 模型。后来,Banker等在可变规模收益假设下进一步改良出第二个模型——BCC模型。本研究采用Fried等^[26]提出的三阶段DEA模型,排除统计噪声和环境因素的影响,从而评估“一带一路”沿线省份的科技创新效率。在此基础上,使用Tobit模型分析环境因素对沿线省份科技创新效率的影响。理论框架如图1所示。第一阶段,通过面向投入的BCC模型测量了沿线省份在外部环境因素和统计噪声影响下的科技创新效率,即综合科技创新效率。第二阶段,每个决策单元(DMU)的投入松弛项被分解为统计噪声、管理无效率和环境因素三个部分,通过Tobit模型来排除统计噪声和环境因素的影响,对投入变量加以调整。第三阶段,将第二阶段调整过的投入变量和原来的产出变量带入DEA-BCC模型中,得到排除外部环境因素和统计噪声影响的各省份实际科技创新效率。

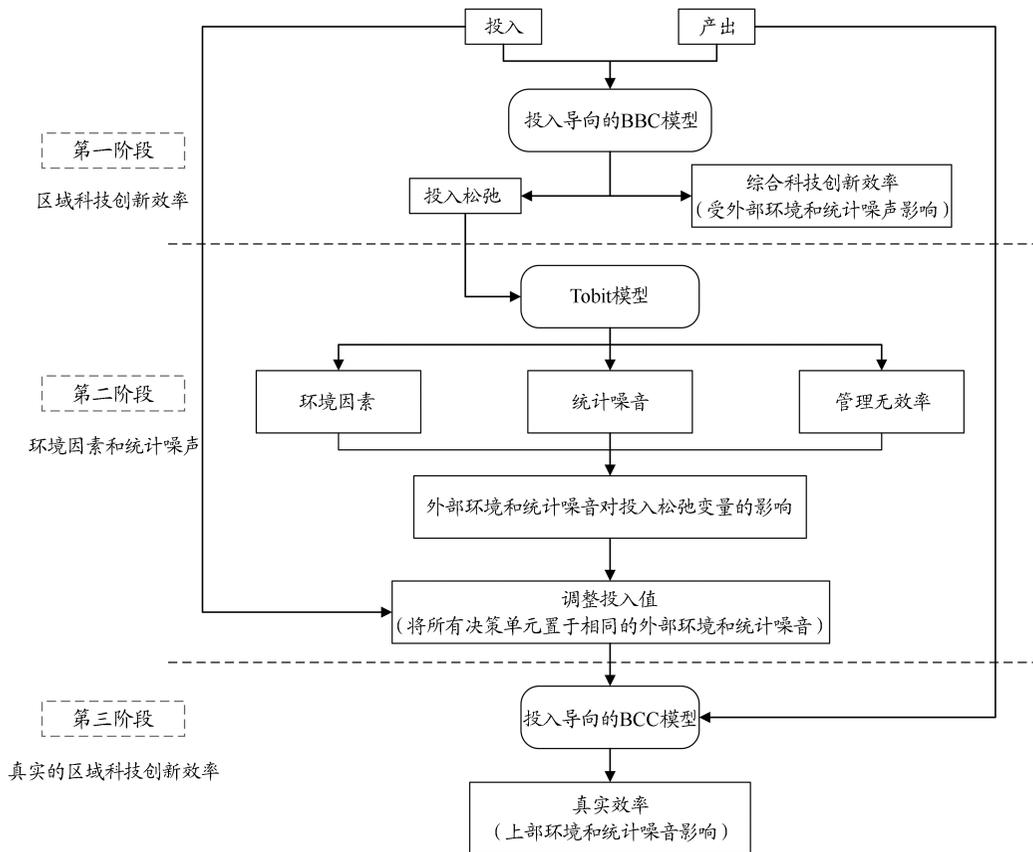


图1 三阶段模型理论框架图

1. 第一阶段:DEA-BCC 模型

考虑到投入和产出之间的关系,DEA 模型可以分为两类,即面向投入和面向产出的 DEA 方法。由于投入变量通常意味着战略制定者的决策,相比产出更加可控,而且 BCC 模型可以测量 C²R 模型无法获得的每个 DMU 的纯技术效率和规模效率,因此本文使用面向投入的 DEA 方法来测量省域科技创新效率,方程式^[27]如下:

$$\min[\theta - \varepsilon(\hat{e}^T s^- + e^T s^+)]$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - s^+ = y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n; \theta \in E_1^+; s^+ \geq 0; s^- \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, θ 为 DMU₀ 的效率值, x_j 为投入变量, y_j 为产出变量, s^+ 、 s^- 分别为投入、产出松弛变量, λ_j 为输入输出指标值的权系数。假设 BCC 模型的最优解为 θ^* 、 λ^* 、 s^{*+} 、 s^{*-} 。若 $\theta^* = 1$,且 $s^{*+} = 0$ 、 $s^{*-} = 0$,则 DMU₀ 为 DEA 有效;若 $\theta^* = 1$ 、 $s^{*+} = 0$ 、 $s^{*-} = 0$ 中任有一个条件不成立,则 DMU₀ 为 DEA 无效。

2. 第二阶段:Tobit 模型

第一阶段之后可以获得 DMU 的省域综合科技创新效率,同时计算出了所有投入变量的松弛

项,投入松弛表明正式投入和目标投入之间的差距,投入松弛是由统计噪声、管理无效率和环境因素造成的^[26]。以投入松弛为因变量,环境因素为自变量,Tobit 模型定义如下:

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^* ; 0 \leq Y_i^* \leq 1 \\ 0 ; Y_i^* < 0 \\ 1 ; 1 < Y_i^* \end{cases} ; Y_i^* = \sum \beta x_i + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式(2)中, ε_i 为随机解释变量且服从正态分布, β 为待估参数, x_i 为因变量的观测值, Y_i 为可观测变量, Y_i^* 为潜在变量。

要对投入变量进行调整,就要将所有 DUM 置于相同的环境,考虑统计噪声的影响。使用 Jondrow 等^[28]提出的混合误差分解方法,如式(3)所示:

$$x_{km}^A = x_{km} + [\max_k \{z_m \hat{\beta}_k\} - z_m \hat{\beta}_k] + [\max_k \hat{v}_{km} - \hat{v}_{km}] \quad (3)$$

式(3)中, x_{km} 、 x_{km}^A 分别表示调整前后的投入量, z_m 为环境变量, $\hat{\beta}_k$ 表示回归系数, \hat{v}_{km} 表示对随机因素的估计。等式右侧第二项表示所有 DUM 处于最不利的外部环境中,第三项表示将所有 DUM 置于一个共同的自然状态,也是最不幸的状态。经过以上调整,就让所有 DUM 处于相同的外部环境,从而排除管理无效率和统计噪声对技术效率的影响。

3. 第三阶段:调整后的 DEA-BCC 模型

将第二阶段调整后的投入和原始产出代入投入导向的 BCC 模型,计算出“一带一路”沿线 17 个省份的科技创新效率水平,得到排除环境因素和统计噪声影响的真实科技创新效率。

(二) 变量选取与数据来源

1. 投入产出变量选取

本研究遵循指标选取的可比性、可得性、科学性原则和 DEA 所有指标数不能超过被评价单元总和三分之一使用原则确定投入产出指标。指标汇总如表 1 所示。

(1)投入指标,包括 R&D 人员和 R&D 经费。在区域创新系统中,研发人员和研发经费是衡量创新效率投入的两个重要方面^[29]。R&D 人员是高校、企业和科研机构等创新主体的合力,反映科技创新人力的投入规模和强度,选取 R&D 人员全时当量(X1)代表创新人员投入^[4,30]。R&D 经费是反映国家或地区科技投入水平的核心指标,选取 R&D 经费内部支出(X2)代表核心创新资金支出^[11,31]。科技创新活动对知识产出的影响具有持续性^[30,32-33],在测算科技创新效率时,使用永续盘存法核算 R&D 资本存量^①。

(2)产出指标,包括专利、科技论文发表数和新产品销售收入。专利是鼓励技术创新的制度手段,在三种专利中,发明专利的水平最高,它体现着专利质量,是反映市场价值和研发成果的竞争力的关键指标^[36],故选取发明专利授权数(Y1)作为科技创新产出的重要指标^[37]。科技论文发表数反

①永续盘存法的计算公式为 $K_{it} = (1-\delta)K_{it-1} + E_{it}$,式中 K_{it} 、 K_{it-1} 分别表示第 i 个地区 t 和 $t-1$ 期的资本存量, δ 代表折旧率,参照 Griliches^[30]、冯宗宪等^[33]、Hu 等^[34] 的研究, δ 取 15%, E_{it} 表示第 i 地区 t 期的实际 R&D 经费支出,其值参照朱平芳和徐伟民^[35] 的做法,消费物价指数赋权 0.55,固定资产投资价格指数赋权 0.45,两者加权相加得到。在此以 2010 年为基期,对 R&D 经费支出进行平减。通常假定 R&D 资本存量的平均增长率和 R&D 经费的增长率是相等的^[32],则基期资本存量的估算公式为 $K_{i0} = E_{i0} / (g + \delta)$,式中, K_{i0} 为基期资本存量, E_{i0} 为基期实际 R&D 经费支出, g 为 2010—2014 年实际 R&D 经费支出的平均增长率, δ 为折旧率。据此,可计算出各期各地区的 R&D 资本存量。

映一个地区科学研究的直接产出^[38],选取国外科技论文发表数(SCI、EI、CPCI-S 收录)(Y_2)作为科技创新产出指标^[10]。新产品销售收入是区域创新产出的重要代表,反映企业创新技术成功转化、推向市场并产生社会效益的情况^[39],选取高技术产业新产品销售收入(Y_3)作为第三个产出指标^[40-41]。以上3个指标从知识创新成果和科技成果商业化等方面衡量科技创新效率。

2. 创新环境指标选取及说明

在创新投入一定的情况下,区域创新环境与科技创新效率密切相关。区域创新环境是指支撑创新效率提高的外部经济、市场、知识流动、设施等硬件软件条件^[42-43],现有研究也多从这些方面选取指标。第一阶段 DEA 模型测算出的创新效率受外部环境的影响,剔除了环境影响才能更好地分析科技创新效率影响因素。基于数据的可得性和张莹和张宗益^[43]、李林汉等^[44]、樊华和周德群^[45]的研究,本文选取科研氛围(E_1)、对外开放度(E_2)、经济发展水平(E_3)、市场环境(E_4)和基础设施(E_5)5个指标来反映影响区域科技创新效率的环境因素。其中,科研氛围用科研机构数占全国比例来表示;对外开放度用外商直接投资占 GDP 的比重来表示;经济发展水平以人均地区生产总值来反映;市场环境用每万名科技活动人员技术市场成交额来表示;基础设施以万人互联网上网人数反映。指标汇总详见表1。

3. 数据来源及说明

本研究分析了2012—2016年“一带一路”沿线17个省份(由于西藏地区数据缺失,本文不作研究)的科技创新效率。本文所涉及的指标数据来源于《中国科技统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》和《中国统计年鉴》。考虑到科技创新全过程(包括研发、生产、销售)存在时滞效应,张充和汤石雨^[46]、白云飞和潘忠志^[47]等人研究发现,R&D经费投入2年后产生的正向效益最大,故本文考虑2年时滞影响,即研究2012—2016年创新效率,投入变量使用2010—2014年数据,产出变量使用2012—2016年数据,据此测算得出相应结果。

表1 科技创新效率评价指标

指标类别	指标名称	单位
投入指标	R&D 人员全时当量(X_1)	人/年
	R&D 资本存量(X_2)	万元
产出指标	发明专利授权数(Y_1)	件
	国外科技论文发表数(Y_2)	篇
	高技术产业新产品销售收入(Y_3)	万元
环境指标	科研氛围(E_1)	%
	对外开放度(E_2)	%
	经济发展水平(E_3)	万元/人
	市场环境(E_4)	万元/万人
	基础设施(E_5)	人

三、三阶段结果与分析

运用 DEA 方法进行测量需要确保投入产出变量具有同向性,采用 Stata13.1 软件分析得出样本数据的 Pearson 相关系数,结果如表2所示,投入和产出变量之间存在显著的正相关关系,符合模型的同向性要求。

(一) 第一阶段 DEA 分析

利用 DEAP2.1 软件测算得出2012—2016年“一带一路”沿线17个省份科技创新的综合效率,既得到了同一地区科技创新效率的历时变化情况,也得到了同一时间段科技创新效率的空间变化情况,17个省份按地区划分为东南、东北、西南和西北四个板块,如表3所示。

表2 科技创新效率投入产出变量的 Pearson 相关系数

变量	X1	X2
Y1	0.951***	0.952***
Y2	0.642***	0.824***
Y3	0.894***	0.816***

注:***表示在1%的水平上显著。

从表3看,采用传统DEA模型进行计算,上海、广东、陕西和甘肃的科技创新效率一直为1,海南、重庆和黑龙江大部分年份的创新效率为接近1,无法体现出5年间效率的变化情况。而且无论是从时间上还是从空间上看,沿线17个省份5年间的科技创新效率都保持在一个较高的水平,总平均值达到0.80。浙江、辽宁的创新效率均值分别为0.78、0.77,均低于平均值,这与我们既有的东部沿海创新能力高的印象不一致。这很可能是由本文选取的新产品销售收入这一创新成果商业化转化指标造成的,它对市场和面积更大的省份更具优势。

表3 各省份科技创新效率值

类别	地区	2012		2013		2014		2015		2016		平均值	
		调整前	调整后										
东南板块	上海	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	浙江	0.72	0.91	0.73	0.97	0.90	1.00	0.83	1.00	0.70	0.88	0.78	0.95
	福建	0.98	0.74	0.88	0.71	0.81	0.68	0.68	0.71	0.72	0.73	0.81	0.71
	广东	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	海南	1.00	0.25	1.00	0.37	1.00	0.30	0.75	0.22	0.66	0.18	0.88	0.27
东北板块	辽宁	0.77	0.88	0.82	0.85	0.77	0.83	0.78	1.00	0.71	1.00	0.77	0.91
	吉林	0.95	1.00	0.94	1.00	0.94	1.00	0.98	0.95	0.95	0.94	0.95	0.98
	黑龙江	0.92	1.00	0.82	1.00	0.90	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00
西南板块	广西	0.60	0.42	0.68	0.61	0.96	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.77
	云南	0.80	0.65	0.83	0.72	0.96	0.75	0.85	0.59	0.74	0.51	0.84	0.65
	重庆	1.00	0.68	0.97	0.75	1.00	0.74	1.00	0.99	1.00	0.77	0.99	0.79
西北板块	内蒙古	0.35	0.23	0.33	0.25	0.32	0.22	0.31	0.23	0.29	0.23	0.32	0.23
	陕西	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	甘肃	1.00	0.68	1.00	0.73	1.00	0.72	1.00	0.68	1.00	0.62	1.00	0.69
	青海	0.26	0.08	0.24	0.09	0.31	0.10	0.41	0.12	0.50	0.14	0.34	0.10
	宁夏	0.29	0.10	0.36	0.16	0.54	0.20	0.58	0.22	0.55	0.23	0.47	0.18
	新疆	0.63	0.32	0.69	0.42	0.83	0.45	0.78	0.42	0.72	0.36	0.73	0.39
总平均值		0.78	0.64	0.78	0.68	0.84	0.69	0.82	0.71	0.80	0.68	0.80	0.68

图2进一步展现了“一带一路”沿线四大板块科技创新效率的演变规律。从图2可以看出,西北板块与其他三大板块的科技创新效率存在显著差异,平均效率最低,为0.64,除了陕西、甘肃之

外,西北板块的科技创新效率都低于平均值,但总体上呈平稳上升趋势。东南、东北和西南板块的平均效率分别为 0.89、0.88 和 0.89,三大板块之间的平均效率没有显著差异,无法明显体现出区域之间的差距。可以看出随着时间的推移,这种差距在不断缩小,从 2014 年开始,东南板块的科技创新效率就逐渐被东北和西南板块超越。这与“一带一路”倡议的政策导向密不可分,东北板块和西南板块各省份在“一带一路”倡议带来的政策红利下,科技创新效率得到显著提升。但是这与现实情况有出入,在很大程度上是由于各省份的科技创新效率受到外部经济、市场、知识流动、基础设施等硬件软件条件的影响,从而导致综合效率评价结果出现偏差。

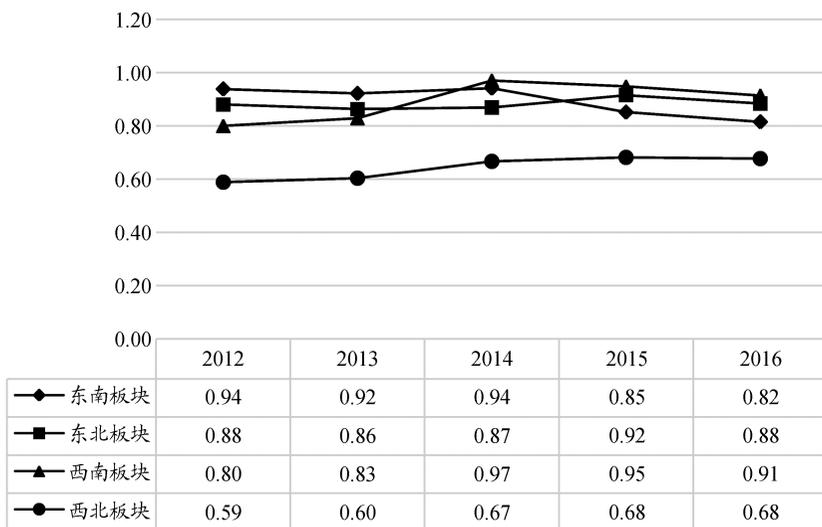


图 2 “一带一路”沿线四大分区科技创新效率演变趋势

(二) 第二阶段截断回归分析

表 4 Tobit 回归结果

以第一阶段得出的投入松弛变量为因变量,包括 R&D 人员全时当量和 R&D 资本存量。以 5 个环境变量为自变量,分别是科研机构数占全国比例、外商直接投资占 GDP 的比重、人均地区生产总值、万名科技活动人员技术市场成交额和万人互联网上网人数。通过本文数据得到的投入松弛变量大多为 0,不符合 SFA 模型的设定,运用 Tobit 模型更为合理。乔元波和王砚羽^[11]、罗彦如等^[48]也运用 Tobit 模型来处理创新效率中的截断数据问题。运用 Stata13.1 软件测算得到的回归结果见表 4。

	R&D 人员全时当量投入松弛	R&D 资本存量投入松弛
常数项	-1 949.631 (8 169.687)	-427 103 (297 710.9)
E1	136 237.6 (181 044.1)	1.16E+07 (7 610 306)
E2	-95 893.68 (65 207.14)	-4 946 314 (1 779 448)
E3	0.179 8 (0.132 3)	-0.206 0 (3.815 9)
E4	0.000 1 (0.002 9)	-0.063 0 (0.077 4)
E5	-0.708 5 (1.960 0)	84.409 8 (54.473 5)
对数似然函数	-870.661 9	-1 156.335 2

注:括号里面为标准差。

1. 科研氛围

从表 4 可以看出,该变量对 R&D 人员投入松弛变量和 R&D 资本存量投入松弛变量均具有正向

影响,表明科研氛围会增加 R&D 人员和 R&D 经费内部支出投入冗余。可能是因为科研机构数越多,科创人员和经费投入就会越多,科技创新资源分布较分散,没有合理地配置科技创新资源,从而难以形成集聚效应,导致科技创新效率较低。

2. 对外开放度

从表 4 可以看出,该变量对 R&D 人员投入松弛变量和 R&D 资本存量投入松弛变量均具有负向影响,表明政府支持会减少 R&D 人员和 R&D 经费内部支出投入冗余。表示一个地区的对外开放程度越高,吸纳的资金就越多,投入科技创新的人员就越多,推动创新资源和创新成果流转,确保科技创新效率提高。

3. 经济发展水平

由表 4 所示,人均 GDP 对 R&D 人员投入松弛变量具有正向影响,对 R&D 资本存量投入松弛变量具有负向影响。说明“一带一路”沿线经济发展水平高地区 R&D 人员投入产生冗余,主要是由于地区经济发展水平高的地区,用于研发的人员也多,过多的人员投入并没有转化成科技创新成果,导致科技创新效率不高,如浙江、福建等地。

4. 市场环境

由表 4 所示,该变量对科研人员投入松弛产生正向影响,对 R&D 资本存量投入松弛产生负向影响,表明市场环境会增加 R&D 人员投入冗余和减少 R&D 经费内部支出投入冗余。这可能是因为知识流转程度高的地方,有效刺激了区域科技创新人员的流动,吸引来的大量科研人员导致科技经费投入冗余。

5. 基础设施

根据表 4,万人互联网上网人数对 R&D 人员投入松弛变量具有负向影响,对 R&D 资本存量投入松弛变量具有正向影响。表明基础设施建设较好的区域会增加 R&D 资本存量投入冗余。这说明基础设施健全的区域,科研经费支出的配置结构还是存在不合理之处,导致科技创新效率难以提升。

(三) 第三阶段调整后的 DEA 分析

将第二阶段 Tobit 回归调整后的投入和原始产出带入第一阶段模型加以测算,得到排除环境因素和统计噪声影响的真实效率,将调整后综合效率按分区列出,结果如表 3 所示。通过表 3 发现,环境因素和统计噪声对区域科技创新效率产生较大影响。调整之后发现,东南板块中,上海和广东创新效率始终保持在效率前沿面,福建、海南的综合效率降低,浙江的科技创新效率在一定程度上得到提高;东北板块 3 个省份的综合效率整体得到提升;西南板块综合效率整体出现下降;西北板块除了陕西保持在创新效率前沿面,其他省份科技创新效率都出现较大幅度下降。这表明,传统 DEA 由于未考虑环境因素和统计噪声的影响,使“一带一路”沿线部分经济、基础设施等环境较差的西部省份科技创新效率测量出现虚高,低估了部分东部基础环境较好省份的创新效率,未能反映各地区真实的科技效率水平。

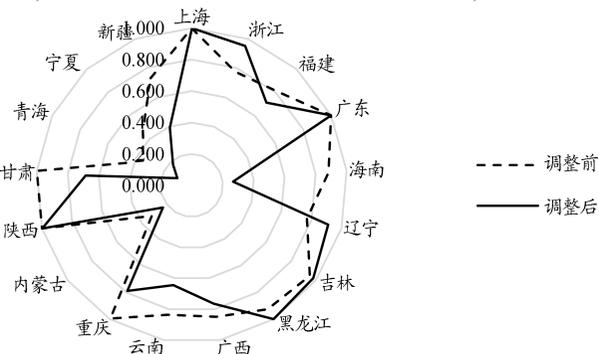


图 3 调整前后科技创新效率演变趋势

图 3 进一步展现了“一带一路”沿线 17

个省份调整前后科技创新效率的演变规律。从图 3 可以看出,调整后的科技创新效率均值总体上小于未经调整的结果,这说明剔除环境因素和统计噪声的影响之后,科技创新效率前沿面地区与非前沿面地区的差距得以显现。调整后,上海、广东、陕西仍旧处于科技创新前沿面,部分东部发展水平较高省份的科技创新效率出现上升,西部欠发展地区科技创新效率出现大幅度下降。由此可见,环境因素对西部欠发展地区的科技创新效率影响较大,调整后的综合效率更能真实反映各省份的科技创新效率。

四、科技创新效率影响因素分析

(一) 影响因素指标选取及说明

区域科技创新系统高质量发展是多种因素共同作用的结果。已有文献中科技创新效率影响因素主要集中在经济、市场、劳动者素质、金融环境、对外贸易水平等方面^[41,49-51]。本文从科技创新主体(高技术企业、政府)、劳动者素质、金融支持和创业水平、科技创新政策等方面选取影响因素指标,进一步分析“一带一路”沿线省份科技创新效率的影响因素,为完善区域科技创新体制和缩小区域科技创新差距提供理论依据。指标汇总如表 5 所示。

表 5 科技创新环境指标体系

变量	标签	指标
科研经费支出	Z1	高技术企业科研经费支出占 GDP 比例 (%)
政府支持力度	Z2	科学技术支出占地方财政支出比例 (%)
“一带一路”倡议政策	Z3	用虚拟变量(0,1)表示
劳动者素质	Z4	每十万人在校大学生人数(人/十万)
金融环境	Z5	人均金融机构年末贷款(万元)
创业水平	Z6	高技术企业占规模以上工业企业比例 (%)

(1) 科研经费支出(Z1)。高技术企业新产品开发是企业科技创新最集中的体现,本文选取高技术企业科研经费支出占地区生产总值的比例来反映科研经费支出程度。

(2) 政府支持力度(Z2)。政府机关是各地区提升科技创新效率的重要推动者。由于企业承担着巨大的风险和产品商业化转化的周期长,仅仅依靠金融机构贷款难以为继,因此政府的财政支持就显得尤为重要。根据李汉林等^[44]的研究,本文选取科学技术支出占地方财政支出的比例来表示政府支持力度。

(3) “一带一路”倡议政策(Z3)。本文采用李彦龙^[52]的做法,用研发补贴政策虚拟变量进行衡量。与采用具体指标衡量研发补贴相比,此方法存在一定不足,但该方法可以有效消减具体指标造成的统计误差。“一带一路”倡议于 2013 年底提出,本文设定研发补贴政策变量在 2014 年之前取值为 0,在 2014 年及以后取值为 1。

(4) 劳动者素质(Z4)。高素质劳动者有利于提高区域科技创新效率,本文选取每十万人在校大学生人数表示劳动者素质。

(5) 金融环境(Z5)。区域科技创新活动离不开银行等金融机构的支持,本文选取人均金融机

构年末贷款来表示区域金融环境。

(6) 创业水平(Z_6)。高技术企业是知识、技术密集的经济实体,是一个地区最高技术水平的表现。本文选取高技术企业占规模以上工业企业比例来衡量区域创业水平^[53]。

(二) 测算结果分析

为了进一步分析“一带一路”沿线省份科技创新效率的影响因素,在第三阶段 DEA 模型测算的基础上使用 Tobit 模型,以 DEA 模型测算出的真实科技创新效率为因变量,影响因素为自变量。由于 DEA 模型计算出的效率值被限制在区间 $[0,1]$,具有截断数据特点,使用 OLS 进行回归会产生有偏性和不一致性^[54]。因此,本研究再次使用 Tobit 模型进行回归分析。构建如下 Tobit 模型,运用 Stata13.1 软件进行回归计算,回归结果如表 6 所示。

$$TE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Z1_{it} + \alpha_2 Z2_{it} + \alpha_3 Z3_{it} + \alpha_4 Z4_{it} + \alpha_5 Z5_{it} + \alpha_6 Z6_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式(4)中, TE_{it} 为第*i*省*t*期的综合效率, α_0 为常数项, α 为估计系数, ε 为随机误差。 $Z1_{it}$ 为*i*省*t*期的科研经费支出, $Z2_{it}$ 为*i*省*t*期的政府支持力度, $Z3_{it}$ 为*i*省*t*期的“一带一路”倡议政策, $Z4_{it}$ 为*i*省*t*期的劳动者素质, $Z5_{it}$ 为*i*省*t*期的金融环境, $Z6_{it}$ 为*i*省*t*期的创业水平。

东中西部各省份之间在经济、市场、知识流动、设施等硬件软件条件方面的差异一直存在,这不可避免地对区域科技创新效率产生影响。现将各省份置于相同的软硬件外部环境下,探究影响“一带一路”沿线省份科技创新效率的重要因素。分析如下。

(1) 科研经费支出的影响。科研经费支出强度与综合效率呈显著负相关,表明当科技经费支出占地区生产总值每提高 1 个单位,科技创新综合效率减少 0.474。说明单纯增加科研经费的投入并不能显著促进企业科技创新效率的提升。

(2) 政府支持力度的影响。政府支持力度与综合效率呈正相关,表明当科技经费支出占地区生产总值每提高 1 个单位,科技创新综合效率增加 0.021。政府的科技财政支持是创新经费重要的资金来源,政府对科技创新的扶持是提升科技创新效率的一个重要因素。

(3) “一带一路”倡议政策的影响。研发补贴政策与综合效率呈负相关,表明当研发补贴政策的影响每提升 1 个单位,科技创新综合效率减少 0.021。这与预期的结果不一致,可能是由于政策出台、落实和成效显现需要一个相当长的时间周期,本文研究的是 5 年间的变化,政策覆盖时间也只有 3 年,政策实施产生效果需要一个累积的过程。

(4) 劳动者素质的影响。每十万人在校大学生人数与综合效率呈显著正相关,表明当每十万人在校大学生人数每提高 1 个单位,科技创新综合效率增加 0.521。可能是由于地区教育投资强度的增加,形成人才培养的良好土壤,在校大学生是潜在的科技创新型人才,高素质科研人员为科技创新产业的发展提供强大内在动力,有利于区域科技创新效率的提升。

(5) 金融环境的影响。人均金融机构年末贷款与综合效率呈显著正相关,表明当人均金融机构年末贷款提高 1 个单位时,科技创新综合效率增加 0.152。这与肖仁桥等人的研究结论不一致,可能是由于科技创新活动的主体主要是企业,金融机构贷款对于创新企业发展的全过程起着强大的支撑作用。

(6) 创业水平的影响。高技术企业占规模以上工业企业比重与综合效率呈负相关,表明当高技术企业占规模以上工业企业比重每提高 1 个单位,科技创新综合效率减少 0.117。可能是由于企业的区域规模经济效益没有实现科技成果的商业转化,没能对科技创新效率产生显著影响。

表6 创新环境因素对科技创新综合效率的Tobit回归结果

变量	系数	标准差	Z值
常数项	-2.697	1.022	-2.640
Z1	-0.474 **	0.225	-2.110
Z2	0.021	0.071	0.300
Z3	-0.021	0.026	-0.810
Z4	0.521 ***	0.111	4.670
Z5	0.152 *	0.091	1.660
Z6	-0.117	0.115	-1.020
Log likelihood	7.039		
Prob > chi2	0.000		

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平上显著。

五、结论与建议

(一) 主要结论

本文基于三阶段DEA和Tobit模型,对“一带一路”沿线17个省份2012—2016年间的科技创新效率及其影响因素加以分析,研究得出以下结论。

第一,“一带一路”沿线省份的科技创新综合效率具有空间差异性。东南、东北、西南和西北四大板块科技创新综合效率差异明显,整体上呈东高西低。经过投入调整之后,东南、东北板块综合效率比较稳定,调整前后整体变动不是很大;西南、西北板块,调整后综合效率下降明显,尤其是西北板块出现大幅下降,东西板块之间综合效率差距进一步加大。说明环境因素对区域科技创新效率产生显著影响。

第二,“一带一路”沿线省市的科技创新效率具有时间动态变化性。东部板块科技创新效率整体偏高,西部板块综合效率整体偏低。但从截面数据看,“一带一路”沿线省份2012—2016年间的综合效率总体上呈上升趋势,且四大板块之间综合效率的差距有逐年减小趋势。

第三,Tobit回归分析表明,政府支持力度、劳动者素质和金融环境对科技创新效率具有正向影响,科研经费支出强度、“一带一路”倡议政策和创业水平对科技创新效率具有负向影响。其中政府支持力度、劳动者素质和金融环境对综合效率的影响比较显著,科研经费支出强度、“一带一路”倡议政策和创业水平的影响不显著。

(二) 对策建议

通过对研究结论的分析,“一带一路”沿线省份的科技创新效率既具有有效性的一面,又存在不充分、不均衡和不稳定的一面,在今后有必要进一步加以完善和改进,建议从以下几方面进一步提高“一带一路”沿线省份的科技创新效率。

其一,科学合理地利用和调配科技创新资源,缩小“一带一路”沿线东、西四大板块科技创新效率的差距。科技创新综合效率高的省份,要在保持适当科技创新投入的基础上减少投入冗余;科技创新综合效率低的省份,要不断提高科技创新投入,加强科技企业、科研机构、高端人才等创新主体培育。人才是科技创新最宝贵的资源,注重引进和培养具有创新能力的人才,打造技术创新平台,

加强科技创新交流,提升科技创新综合效率。

其二,培育高质量创新生态系统。创新生态系统对“一带一路”沿线东西四大板块的科技创新效率具有明显影响。西南、西北板块在科技创新综合效率方面尚有巨大提升空间,为不断缩小与东南、东北板块创新效率差距,依然要加强 R&D 投入强度、提升科技创新能力和建设创新平台。对于创新资源集聚、创新生态良好的东部地区,需在市场、法治和科技创新政策之间加强集中联结配合,构建一流的创新创业生态系统,实现创新生态化助力整体科技创新效率提升。

其三,优化科技创新体制机制。推动创新成果生产力转化的政策创新,加强技术研发和创新成果之间的衔接,尝试让投资者、发明专利的人和将专利权转化为生产力的人各司其职、分类推进,将发明创造者从生产力转化的负担中解放出来;围绕主导产业制定引育顶尖、领军、高端、青年等专项实用人才政策机制,力争对各类别、层次人才全覆盖。

其四,建立系统的科技创新政策体系。技术创新、平台建设、人才引进和科创成果转化等是科创政策体系不可或缺的组成部分,沿线省份应紧紧围绕这些方面出台系统完善的政策;制定科学的科技金融政策,为提升区域科技创新效率提供良好科技金融政策支持。同时,结合区域特色制定相应扶持政策,国家要给西部板块更多支持和发展自由,鼓励东部综合效率高的企业加强科技创新基础研究,通过科技创新和技术转移反哺西部,增加互动合作;西部省份也要充分利用“一带一路”科技政策优势,提升“一带一路”沿线省份整体科技创新综合效率。

参考文献:

- [1] ROUSSEAU S, ROUSSEAU R. Data envelopment analysis as a tool for constructing scientometric indicators[J]. *Scientometrics*, 1997, 40(1): 45-56.
- [2] 官建成, 何颖. 基于 DEA 方法的区域创新系统的评价[J]. *科学学研究*, 2005(2): 265-272.
- [3] WANG E C. R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach[J]. *Journal of Policy Modeling*, 2007, 29(2): 345-360.
- [4] 李婧, 谭清美, 白俊红. 中国区域创新效率及其影响因素[J]. *中国人口·资源与环境*, 2009(6): 142-147.
- [5] HASHIMOTO A, HANEDA S. Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry[J]. *Research Policy*, 2008, 37(10): 1829-1836.
- [6] 刘凤朝, 潘雄锋. 基于 Malmquist 指数法的我国科技创新效率评价[J]. *科学学研究*, 2007(5): 986-990.
- [7] 陈艳华. 基于熵权 TOPSIS 的区域科技创新能力实证研究[J]. *工业技术经济*, 2017(5): 46-51.
- [8] 吴忠涛, 张琅, 张裕华. 经济转型时期的科技型企业创新效率比较研究[J]. *当代经济科学*, 2018(3): 57-65, 126.
- [9] 任胜钢, 彭建华. 基于因子分析法的中国区域创新能力的评价及比较[J]. *系统工程*, 2007(2): 87-92.
- [10] 郭淑芬, 张俊. 中国 31 个省市科技创新效率及投入冗余比较[J]. *科研管理*, 2018(4): 55-63.
- [11] 乔元波, 王砚羽. 基于三阶段 DEA-Window 分析的中国省域创新效率评价[J]. *科学学与科学技术管理*, 2017(1): 88-97.
- [12] ZHONG W, YUAN W, LI S X, et al. The performance evaluation of regional R&D investments in China: An application of DEA based on the first official China economic census data[J]. *Omega*, 2011, 39(4): 447-455.
- [13] 刘树峰, 杜德斌, 覃雄合, 等. 基于创新价值链视角下中国创新效率时空格局与影响因素分析[J]. *地理科学*, 2019(2): 173-182.
- [14] 余泳泽, 刘大勇. 创新价值链视角下的我国区域创新效率提升路径研究[J]. *科研管理*, 2014(5): 27-37.
- [15] CHEN X F, LIU Z Y, ZHU Q Y. Performance evaluation of China's high-tech innovation process: Analysis based on the innovation value chain[J]. *Technovation*, 2018, 74/75: 42-53.

- [16]肖仁桥,钱丽,陈忠卫.中国高技术产业创新效率及其影响因素研究[J].管理科学,2012(5):85-98.
- [17]胡艳,周玲玉.长江经济带高新技术产业创新效率及其影响因素研究[J].工业技术经济,2018(6):71-77.
- [18]FRITSCH M,SLAVTICHEV V. Determinants of the efficiency of regional innovation systems[J]. Regional Studies,2011,45(7):905-918.
- [19]孙亚静,韩爽,杨柳.基于“一带一路”的吉林省科技创新竞争力研究[J].税务与经济,2019(4):106-112.
- [20]张小勇,马永腾.“一带一路”倡议与西部民族地区产业科技创新协同发展研究[J].科学管理研究,2019(3):92-96.
- [21]张娜,吴福象.“一带一路”国内段节点城市创新空间差异及溢出效应[J].统计与决策,2019(18):143-146.
- [22]夏彩云,罗圳.“一带一路”沿线省域高技术产业R&D效率提升研究[J].工业技术经济,2017(10):31-37.
- [23]郝金磊,尹萌.丝绸之路经济带沿线地区创新效率评价及影响因素研究:基于BCC和Malmquist指数法的DEA-Tobit模型[J].科技管理研究,2018(5):69-76.
- [24]苏日古嘎,马占新.“一带一路”重点省区企业科技创新效率评价:基于广义DEA模型的实证分析[J].科学管理研究,2018(6):90-93.
- [25]CHARNES A,COOPER W W,RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.
- [26]FRIED H O,LOVELL C A K,SCHMIDT S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis,2002,17(1/2):157-174.
- [27]魏权龄.数据包络分析[M].北京:科学出版社,2004:102-106.
- [28]JONDROW J,KNOX LOVELL C A,MATEROV I S, et al. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model[J]. Journal of Econometrics,1982,19(2/3):233-238.
- [29]CRUZ-CÁZARES C,BAYONA-SÁEZ C,GARCÍA-MARCO T. You can't manage right what You can't measure well: Technological innovation efficiency[J]. Research Policy,2013,42(6/7):1239-1250.
- [30]GRILICHES Z. R&D and the productivity slowdown[R]. National Bureau of Economic Research,1980.
- [31]HALL B H,GRILICHES Z,HAUSMAN J A. Patents and R and D:Is there a lag?[J]. International Economic Review,1986,27(2):265.
- [32]吴延兵. R&D存量、知识函数与生产效率[J].经济学(季刊),2006(3):1129-1156.
- [33]冯宗宪,王青,侯晓辉.政府投入、市场化程度与中国工业企业的技术创新效率[J].数量经济技术经济研究,2011(4):3-17,33.
- [34]HU A G Z,JEFFERSON G H,QIAN J C. R&D and technology transfer:Firm-level evidence from Chinese industry[J]. Review of Economics and Statistics,2005,87(4):780-786.
- [35]朱平芳,徐伟民.政府的科技激励政策对大中型工业企业R&D投入及其专利产出的影响:上海市的实证研究[J].经济研究,2003(6):45-53,94.
- [36]COHEN W M,LEVINTHAL D A. Absorptive capacity:A new perspective on learning and innovation[J]. Administrative Science Quarterly,1990,35(1):128-152.
- [37]王圣云,林玉娟,罗玉婷.长江经济带科技创新效率变化的指数分解及聚类分析[J].华东经济管理,2018(9):66-72.
- [38]王珍珍,黄茂兴.我国科技创新效率的实证研究:基于DEA-Malmquist模型和中国省际面板数据[J].技术经济,2013(10):55-61.
- [39]许福志,徐蔼婷.中国创新两阶段效率及影响因素:基于社会资本理论视角[J].经济学家,2019(4):71-79.
- [40]严翔,成长春.长江经济带科技创新效率与生态环境非均衡发展研究:基于双门槛面板模型[J].软科学,2018(2):11-15.
- [41]刘钊,邓明亮.基于改进超效率DEA模型的长江经济带科技创新效率研究[J].科技进步与对策,2017(23):48-53.
- [42]岳鹤,张宗益. R&D投入、创新环境与区域创新能力关系研究:1997—2006[J].当代经济科学,2008(6):110-116,126.

- [43]张莹,张宗益.区域创新环境对创新绩效影响的实证研究:以重庆市为例[J].科技管理研究,2009(2):104-106.
- [44]李林汉,王宏艳,田卫民.基于三阶段 DEA-Tobit 模型的省际科技金融效率及其影响因素研究[J].科技管理研究,2018(2):231-238.
- [45]樊华,周德群.中国省域科技创新效率演化及其影响因素研究[J].科研管理,2012(1):10-18,26.
- [46]张充,汤石雨.R&D 公共投资与自主创新能力的协整分析:以吉林省为例[J].科技进步与对策,2009(8):46-48.
- [47]白云飞,潘忠志.我国 R&D 投入对于科技创新的时滞效应研究[J].科技管理研究,2015(4):1-5.
- [48]罗彦如,冉茂盛,黄凌云.中国区域技术创新效率实证研究:三阶段 DEA 模型的应用[J].科技进步与对策,2010(14):20-24.
- [49]习明明.长江经济带创新环境对科技创新效率影响的实证研究[J].江西财经大学学报,2019(3):19-29.
- [50]程广斌,张雅琴.丝绸之路经济带沿线省份科技创新效率及其影响因素[J].地域研究与开发,2017(2):17-23.
- [51]关祥勇,王正斌.区域创新环境对区域创新效率影响的实证研究[J].科技管理研究,2011(21):16-19,23.
- [52]李彦龙.税收优惠政策与高技术产业创新效率[J].数量经济技术经济研究,2018(1):60-76.
- [53]中国科技发展战略研究小组,中国科学院大学中国创新创业管理研究中心.中国区域创新能力评价报告 2016[R].北京:科学技术文献出版社,2016:227.
- [54]GREENE W H. On the asymptotic bias of the ordinary least squares estimator of the Tobit model[J]. *Econometrica*, 1981, 49(2):505-513.

Analysis on the efficiency and influencing factors of science and technology innovation along the “Belt and Road” in China: Based on the three-stage DEA and Tobit models

CHEN Sheng^{1,2}, FU Xueqin¹

(1. School of Public Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;

2. Institute for Contemporary China Studies, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China)

Abstract: Technological innovation and the “Belt and Road” initiative are closely linked and increasingly affect the high-quality and sustainable development of the modern economic system. However, the regions along the “Belt and Road” are still facing development difficulties such as uneven distribution of innovation resources, insufficient transformation of innovation results, imperfect construction of innovation ecosystems, and inadequate optimization of innovation systems and mechanisms. This restricts the improvement of regional scientific and technological innovation efficiency. To a certain extent, it affects the deepening development of the “Belt and Road” initiative. Facing the continuous deepening of the innovation-driven strategy and the continuous high-quality development of the “Belt and Road”, clarifying the overall input and output efficiency of scientific and technological innovation in the provinces along the “Belt and Road”, and exploring the factors that affect the efficiency of technological innovation in the provinces along the “Belt and Road” and how to improve the efficiency of scientific and technological innovation in provinces along the “Belt and Road”, the analysis and resolution of these problems have attracted widespread attention from the practitioner and scholar. In this context, based on the three-stage data envelopment (DEA) model, according to panel data from 2012 to 2016, and taking full account of the time lag effect of the transformation of innovation achievements, we explore the real scientific and technological innovation efficiency of 17 provinces along the “Belt and Road” after excluding the external environmental impact. And the Tobit model is used to test the impact of technological

innovation entities (high-tech enterprises, governments), labor quality, financial support and entrepreneurial level, and technological innovation policy factors on the efficiency of technological innovation in provinces along the “Belt and Road”. The research results show that the efficiency of scientific and technological innovation in provinces along the “Belt and Road” is effective, but also inadequate, unbalanced and unstable. Firstly, the comprehensive efficiency of scientific and technological innovation in the provinces along the “Belt and Road” is spatially different. The comprehensive efficiency of scientific and technological innovation in the four major sectors of the Southeast, Northeast, Southwest and Northwest has obvious differences, and the overall efficiency is higher in the east and lower in the west. Secondly, the comprehensive efficiency of scientific and technological innovation in provinces along the “Belt and Road” has dynamic changes over time. The overall efficiency has shown an upward trend in the past five years, and the gap in comprehensive efficiency between the four major sectors has decreased year by year. Finally, the analysis of the impact of the Tobit regression model on the overall efficiency of scientific and technological innovation shows that government support, labor quality, and financial environment have a positive impact on the efficiency of scientific and technological innovation. The intensity of scientific research expenditures, the “Belt and Road” initiative policy and the level of entrepreneurship have a negative impact on the efficiency of scientific and technological innovation. Based on this, we believe that it is reasonable to increase the efficiency of scientific and technological innovation in provinces along the “Belt and Road” in terms of rationally deploying scientific and technological innovation resources, cultivating high-quality innovation ecosystems, optimizing innovation systems and mechanisms, and improving scientific and technological innovation policy systems.

Key words: the “Belt and Road”; technological innovation efficiency; influence factor; three-stage DEA; Tobit model

(责任编辑 傅旭东)